

DIALOG(R)File 347:JAPIO
(c) 2004 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

06547864 ❖❖Image available❖❖

DEVICE AND METHOD FOR LASER IRRADIATION

PUB. NO.: 2000-133593 [JP 2000133593 A]
PUBLISHED: May 12, 2000 (20000512)
INVENTOR(s): JUMONJI MASAYUKI
APPLICANT(s): NEC CORP
APPL. NO.: 10-307198 [JP 98307198]
FILED: October 28, 1998 (19981028)
INTL CLASS: H01L-021/20; H01L-021/268

ABSTRACT

PROBLEM TO BE SOLVED: To miniaturize a laser irradiating device, to improve the using efficiency of the energy of laser beams, and to improve the quality of the film of a polycrystalline organization at forming of a polycrystalline semiconductor film through laser annealing.

SOLUTION: An amorphous silicon film 4a is irradiated directly with laser beams from an oblique direction and is irradiated indirectly with reflected lights which are converted by a concave mirror 10. A direct irradiation region 6 is positioned in front of or rearward of an indirect irradiation area 7.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-133593

(P 2 0 0 0 - 1 3 3 5 9 3 A)

(43) 公開日 平成12年5月12日(2000.5.12)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード (参考)
H01L 21/20		H01L 21/20	5F052
21/268		21/268	F
			J

審査請求 有 請求項の数13 O L (全9頁)

(21) 出願番号 特願平10-307198

(22) 出願日 平成10年10月28日(1998.10.28)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 十文字 正之

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 100100893

弁理士 渡辺 勝 (外3名)

Fターム(参考) 5F052 AA02 BA02 BA07 BA18 BB07

CA04 CA10 DA01 DA02 DB02

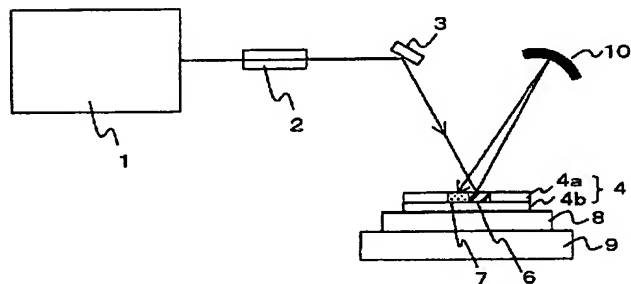
HA01 JA01

(54) 【発明の名称】 レーザ照射装置およびレーザ照射方法

(57) 【要約】

【課題】 レーザアニールにより多結晶半導体膜を形成する際、レーザ照射装置の小型化を図りつつレーザ光のエネルギーの利用効率を高め、さらに、多結晶組織の膜質の向上を図ること。

【解決手段】 アモルファスシリコン膜4aに対してレーザ光を斜めの方向から直接照射するとともに、反射した光を凹面ミラー10により集光して間接照射する。直接照射領域6は、間接照射領域7の前方または後方に位置するようにする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザ光を半導体薄膜に照射するレーザ照射装置において、レーザ光を発生するレーザ光発生手段と、該レーザ光を半導体膜に対して斜めの方向から直接照射するように照射角度を調整する光学系と、直接照射したレーザ光が半導体膜で反射した光を集光し、再び半導体膜に導いて間接照射せしめる集光手段とを備えたことを特徴とするレーザ照射装置。

【請求項2】 前記レーザ光を一方向に沿って走査するレーザ光走査手段をさらに備えたことを特徴とする請求項1に記載のレーザ照射装置。

【請求項3】 直接照射による照射領域が、間接照射による照射領域に対してレーザ光の走査方向の後方に位置することを特徴とする請求項2に記載のレーザ照射装置。

【請求項4】 直接照射による照射領域が、間接照射による照射領域に対してレーザ光の走査方向の前方に位置することを特徴とする請求項2に記載のレーザ照射装置。

【請求項5】 間接照射による照射エネルギー密度が直接照射による照射エネルギー密度の10～100%となるように、前記集光手段の集光度が調整されたことを特徴とする請求項2乃至4いずれかに記載のレーザ照射装置。

【請求項6】 レーザ光を半導体薄膜に照射するレーザ照射方法において、該半導体膜に対してレーザ光を斜めの方向から照射する直接照射と、直接照射したレーザ光が半導体膜で反射した光を集光し再び半導体膜に導いて照射する間接照射とを行うことを特徴とするレーザ照射方法。

【請求項7】 前記レーザ光を一方向に沿って走査しながら半導体薄膜に照射することを特徴とする請求項6に記載のレーザ照射方法。

【請求項8】 直接照射による照射領域が、間接照射による照射領域に対してレーザ光の走査方向の後方に位置することを特徴とする請求項7に記載のレーザ照射方法。

【請求項9】 前記半導体膜の一地点に対し、間接照射により溶融させた後、冷却して固化させ、その後、直接照射を行うことを特徴とする請求項8に記載のレーザ照射方法。

【請求項10】 間接照射による照射エネルギー密度が直接照射による照射エネルギー密度の10～100%となるように、前記集光手段の集光度が調整されたことを特徴とする請求項8または9に記載のレーザ照射方法。

【請求項11】 直接照射による照射領域が、間接照射による照射領域に対してレーザ光の走査方向の前方に位置することを特徴とする請求項6に記載のレーザ照射方法。

【請求項12】 前記半導体膜の一地点に対し、直接照

射により溶融させた後、溶融状態を維持している間に間接照射を行うことを特徴とする請求項11に記載のレーザ照射方法。

【請求項13】 間接照射による照射エネルギー密度が直接照射による照射エネルギー密度の10～100%となるように、集光手段の集光度が調整されたことを特徴とする請求項11または12に記載のレーザ照射方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、非単結晶半導体薄膜にレーザ光を照射し、レーザアニールにより、多結晶半導体膜を形成するレーザ照射装置およびレーザ照射方法に関し、特に液晶ディスプレイや密着型イメージセンサ等に用いられる多結晶シリコン薄膜トランジスタのチャンネル層を形成するレーザ照射装置およびレーザ照射方法に関する。

【0002】

【従来の技術】現在、液晶表示装置や密着型イメージセンサ等への応用を目的とした、ガラス基板上に形成される多結晶シリコン薄膜をチャンネル層とする薄膜トランジスタの開発が盛んに進められている。多結晶シリコン薄膜の作製方法としては、プロセス温度低温化、スループット向上などの観点から、前駆体として一旦成膜したシリコン薄膜に、紫外レーザ光を照射することにより溶融を経た結晶化を引き起こして多結晶組織を形成する、レーザアニール法が主流となりつつある。

【0003】このレーザアニール法において、多結晶組織を均一に形成すること、すなわち多結晶粒子の粒径を均一にすることが重要な課題の一つとなっている。このための手法として、エネルギー値の異なる2種類のエネルギー照射を行うことが有効であり、従来、種々のレーザアニール方法が提案されてきた。

【0004】たとえば、まず比較的低エネルギーの照射を行った後、次の工程で、これよりも高いエネルギーの照射を行うという方法がある。また、同一波長のレーザ光を発する2台のパルスレーザを用い、まず比較的低エネルギーのレーザを用いて照射を行い、つづいて同一の地点にこれよりも高いエネルギーのレーザを用いて照射を行う、いわゆる2ステップ・アニール法とよばれる方法がある。

【0005】しかし、これらの方法では、照射作業を2度行う必要があり作業効率が悪かった。このためレーザ処理に要する時間が長くなるという問題があった。また、2種類のエネルギーのレーザ照射を行うために、2台のレーザを設置するかレーザ光のエネルギーを所望の大きさに下げるエネルギー変換器等を設置する必要が生じ、照射装置が大がかりになって広い設置場所が必要となるという問題があった。

【0006】特開平6-61172号公報には、このような問題を解決するためのレーザアニール装置が開示さ

れている。同公報に開示されているレーザアニール装置の構造を図8に示す。図中のレーザアニール装置において、ホモジナイザ17から出力されたレーザ光の一部はビームスプリッタ18によって分岐される。分岐された光は反射鏡19によって光路変更され、さらに、調節レンズ20によってビームの広がり等が調整された後にフィルタ21によって所望のエネルギー密度の副ビームE1となる。したがって、ビームの移動方向に対してエネルギー密度の異なる主ビームE2と副ビームE1とが平行して出力され、絶縁基板12上のアモルファスシリコン13に照射されることとなる。この装置によれば、簡易な構造でエネルギーの異なるレーザ光を一度の照射作業で照射できるとされている。

【0007】一方、照射領域中のレーザ光エネルギープロファイルを特定の形状とすることにより、同一地点に2種類のエネルギーのレーザ照射がなされるようにする技術も提案されている。この方法について図9を参照して説明する。図9(a)は、照射に用いたパルスレーザ光のエネルギー密度プロファイルを示す図である。この図は、矩形の照射領域の短辺方向(レーザ走査方向と垂直の方向)のエネルギー分布を示すものであり、トップフラット型の形状を有している。両端に傾斜部を有するエネルギー密度プロファイルであるため、このパルスレーザ光をスキャン照射すれば、ピッチ(レーザ光の走査幅)を適宜に調整することにより、同一地点に2種類のエネルギーのレーザ照射がなされることとなる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかし上記従来技術はいずれも、レーザ光のエネルギーの利用効率が低いという問題を有していた。半導体膜に照射された光はすべて相転移等に消費されるのではなく、その半分以上が反射する。たとえば、XeClエキシマレーザ(波長308nm)では約53%、KrFエキシマレーザ(波長248nm)では約54%の光が固体のアモルファスシリコン膜の表面で反射する。さらに、アモルファスシリコン膜が熔融状態となった場合、反射率は一層高くなり、XeClエキシマレーザでは約73%、KrFエキシマレーザでは約75%の反射率となる。従来技術においては、この反射光がレーザアニールのために利用されることはなかった。このため、レーザアニールを行うために本来必要とする以上のエネルギーの照射を行う必要があり、レーザ光源の寿命が短くなり運用コストが上がるという問題があった。さらに、必要以上に高いエネルギー照射を行っていたため、レーザの周波数を十分に上げることができず、処理速度を上げることについて一定の制約があった。

【0009】また特開平6-61172号公報記載の技術は、副ビームのエネルギー密度を、フィルタを透過させることによって調整しているため、レーザ光のエネルギーの利用効率が更に下がるという問題があった。また

光学部品点数が多いため、そのコストが上がるという問題があり、さらに、正副ビームが表面で反射し、フィルタやミラーなどの光学部品に損傷を与えるという問題があった。

【0010】また、信学技報SDM92-112巻(1992年)、53頁記載の技術には、パルスレーザ光のエネルギー密度プロファイルが両端に傾斜部を有することに起因して、上述したものと別個の問題を有していた。このパルスレーザ光をスキャン照射した場合の結晶粒径の変化を図9(b)~(d)に示す。まず、アモルファスシリコン薄膜に図9(a)に示すプロファイルを有するパルスレーザ光を照射すると、図9(b)に示す結晶粒径分布の多結晶領域が形成される。次にビームをピッチxだけ矢印方向に移動してパルスレーザ光を照射すると、結晶粒径分布は図9(c)に示すように変化する。ここで、図9(b)におけるビーム端近傍の領域で粒径の極小値が見られる。最終的には、照射開始箇所と照射終了箇所を除き、図9(d)に示す結晶粒径分布を有する多結晶シリコン薄膜が形成される。すなわちビーム端による組織変化に起因する結晶粒径の不均一が発生する。この現象は、レーザ照射による薄膜の熔融状態が、照射前の薄膜組織に依存することに起因するものである。特に、前駆体としてアモルファスシリコン薄膜を用いた場合の、既照射領域(結晶領域)と未照射領域(アモルファス領域)との界面で、顕著な熔融状態の変化が発生する。

【0011】以上述べた問題点にくわえ、上記従来技術はいずれも、粒径分布が均一で、かつ粒子の配列状態が良好な大粒径多結晶シリコン膜を形成することに関し、十分な効果が得られないことがあり、この点についてもさらなる改良が求められていた。

【0012】本発明は、上述の点に鑑み、以下の課題を解決することを目的とする。

【0013】第一の課題は、レーザ光のエネルギーの利用効率を高め、これによりレーザ光源の寿命を向上して運用コストを下げ、さらにアニール処理速度を向上させることである。

【0014】第二の課題は、光学系をシンプルな構造とし、装置の小型化を図り省スペース化を図ることである。

【0015】第三の課題は、多結晶組織の膜質の向上、すなわち、多結晶粒子の粒径の均一化、多結晶粒子の大粒径化、多結晶粒子の配列状態の秩序化等を図ることである。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、レーザ光を半導体薄膜に照射するレーザ照射装置において、レーザ光を発生するレーザ光発生手段と、該レーザ光を半導体膜に対して斜めの方向から直接照射するように照射角度を調整する光学系と、直接照射したレーザ光が半導

体膜で反射した光を集光し、再び半導体膜に導いて間接照射せしめる集光手段とを備えたことを特徴とするレーザ照射装置が提供される。

【0017】また本発明によれば、レーザ光を半導体薄膜に照射するレーザ照射方法において、該半導体膜に対してレーザ光を斜めの方向から照射する直接照射と、直接照射したレーザ光が半導体膜で反射した光を集光し再び半導体膜に導いて照射する間接照射とを行うことを特徴とするレーザ照射方法が提供される。

【0018】本発明においては、半導体膜に対してレーザ光を斜めの方向から直接照射するとともに、反射した光を集光し再び半導体膜に導いて間接照射する。従来は、レーザ光を半導体膜に対して直角の方向から直接照射していた。このようにすれば単位面積当たりのレーザ光のエネルギー密度を最大となるからである。これに対して本発明は、直接照射の照射角度を直角方向からずらし、半導体膜に対し、たとえば70～87度の角度から照射している。これにより、反射光を集光し再び半導体膜に導いて間接照射することが可能となり、従来検討されていなかった反射光の有効利用が図られ、レーザ光のエネルギーの利用効率を高めることができる。

【0019】本発明においては、半導体膜で反射した光の全光量に対する集光された光の光量の割合を集光度と定義する。本発明によれば、集光手段の集光度を調整することにより間接照射のエネルギーを容易に制御できるため、所望のエネルギー密度を有する2種類のレーザ光を同時に半導体膜に照射することが可能となる。通常、エネルギー密度の異なる2種類のレーザ光を照射するには、装置が大がかりになったり処理時間が長くなる等の問題があったが、本発明によればこれらの問題が解決される。

【0020】本発明における集光手段としては、凹面ミラー等の簡易な構造のものをを用いることができ、設置位置の調整等により集光度を容易に調整できる。たとえば特開平6-61172号公報記載の技術は、副ビームのエネルギー密度をフィルタを透過させることによって調整しているため、レーザ光のエネルギー利用効率が低下するという問題があった。また、フィルターの物性によりエネルギー密度を調整しているため、いったんフィルターを設置してしまえば副ビームのエネルギー密度を自由に変えることや微調整することが困難であった。これに対し、本発明では凹面ミラー等の簡易な構造の集光手段を用いているため、その取り付け位置を調整することにより、簡単な操作で集光度を連続的に変えることができ、間接照射のエネルギー密度を容易に調整できる。さらに、間接照射のエネルギー密度や照射面積を広範囲に調整することができるので、被処理材料に応じた多様なレーザアニール処理が可能となる。

【0021】さらに、直接照射による照射領域と間接照射による照射領域との位置関係を適宜に調整すれば、半

導体膜の同一箇所にエネルギー密度の異なる2種類のレーザ照射が行われることとなり、多結晶粒子の粒径の均一化、あるいは、多結晶粒子の大粒径化や多結晶粒子の配列状態の秩序化といった多結晶組織の膜質の向上を図ることができる。ここで、本発明では凹面ミラー等の取り付け角度を調整することにより直接照射および間接照射の照射領域の位置関係を適宜に調整することができるので、一台のレーザ照射装置で多目的なレーザアニール処理を行うことが可能となる。

【0022】

【発明の実施の形態】本発明におけるレーザ光とは、KrF、XeCl等のエキシマレーザの他、ルビーレーザのような他のパルスレーザ、アルゴンレーザのようなCW (Continuous Wave) レーザを含む。レーザ光のエネルギー密度は、多結晶半導体薄膜を形成し得る程度の大きさとする。

【0023】本発明の半導体薄膜とは、アモルファスシリコン膜や多結晶シリコン膜の他、SiGe等の膜を含む。

【0024】本発明においては、レーザ光を半導体膜に対して斜めの方向から直接照射するとともに、直接照射したレーザ光が半導体膜で反射した光を集光し、再び半導体膜に導いて間接照射する。直接照射とは半導体膜に直接に照射することをいい、間接照射とは半導体膜に反射した光を集光手段等により再度半導体膜に導き、照射することをいう。直接照射は半導体膜に対して斜めの方向から照射されるが、その照射角度は、半導体膜を含む平面に対して、好ましくは60～87度、さらに好ましくは70～85度とする。角度を小さくしすぎると照射領域中の単位面積当たりのエネルギー強度が低下し、また好ましくないエネルギー分布が生じることがある。角度を大きくしすぎると、直接照射のための光学系と、間接照射を行うための集光手段等とを好適に配置することが困難になる場合がある。

【0025】間接照射は、集光手段等により半導体膜で反射した光を集光し、この光を再び半導体膜に導くことにより行われる。集光手段とは、ミラー等が用いられ、特に凹面ミラーが好ましく用いられる。このような集光手段の集光度は、ミラーと半導体膜との間の距離や凹面ミラーの湾曲度等により制御することができる。また、凹面ミラーに透過率を持たせれば、その透過度の調整により制御可能となる。

【0026】本発明において、レーザ光を一方向に沿って走査することとしてもよい。レーザ光走査手段は、レーザ光の側を移動させる手段であってもよいし、被処理基板を移動させる手段であってもよい。これにより、半導体膜上の同一箇所に対し、エネルギー密度の異なる直接照射と間接照射の2度の照射を行うことが可能となり、多結晶粒子の粒径の均一化、多結晶粒子の大粒径化、多結晶粒子の配列状態の秩序化等の膜質の向上を図

10

20

30

40

50

ることが可能となる。

【0027】本発明において、直接照射による照射領域と間接照射による照射領域との位置関係を適宜に調整することにより、以下の効果がもたらされる。

【0028】直接照射による照射領域を、間接照射による照射領域に対してレーザ光の走査方向の後方に位置させた場合、半導体膜の同一地点に対し、間接照射および直接照射がこの順で行われることとなる。すなわち、まず低エネルギーの間接照射により半導体膜が予備加熱されて固体から液体に変化し、その後の冷却に伴って、微細だが均一な多結晶シリコンとなる。この段階で、より高エネルギーの直接照射が行えば、欠陥の少ない、均一な粒径を有する多結晶組織が得られる。すなわち、このような効果を得るためには、半導体膜の一地点に対し、間接照射により溶融させた後、冷却して固化させ、その後、直接照射を行うようにすることが好ましい。これは、直接照射および間接照射の照射領域の位置関係の調整により実現できる。

【0029】直接照射による照射領域を、間接照射による照射領域に対してレーザ光の走査方向の前方に位置させた場合、半導体膜の同一地点に対し、直接照射および間接照射がこの順で行われることとなる。すなわち、まず高エネルギーの直接照射により半導体膜が加熱されて溶融状態となった後、低エネルギーの間接照射が行われる。このため、溶融状態からの冷却が緩やかに進行し、これにより多結晶粒子の大粒径化を図ることができる。すなわち、多結晶粒子の大粒径化の目的を達成するためには、半導体膜の一地点に対し、直接照射により溶融させた後、溶融状態を維持している間に間接照射を行うことが好ましい。

【0030】本発明において、間接照射による照射エネルギー密度が直接照射による照射エネルギー密度の10～100%となるように、集光手段の集光度が調整されることが好ましい。これによりレーザ光エネルギーの利用効率を高めるとともに、上述のような多結晶組織の粒径の均一化、大粒径化等、種々の効果を得ることができる。ここで、多結晶組織の粒径の均一化、あるいは大粒径化を図るためには、集光度を以下のようにすることが好ましい。すなわち、間接照射による照射エネルギー密度は、直接照射による照射エネルギー密度の25～80%とすることが好ましく、30～50%とすることがさらに好ましく、35～42%とすることが最も好ましい。このようにすれば予備加熱のために適したエネルギーとなって、より一層、多結晶組織の粒径の均一化を図ることができる。また、直接照射後の冷却を緩やかに進行させるのに適したエネルギーとなって、より一層、多結晶組織の大粒径化を図ることができる。

【0031】

【実施例】（実施例1）本実施例で用いるレーザ照射装置の概略図を図1に示す。

【0032】被処理基板4は、絶縁基材4b上にアモルファスシリコン膜4aが形成された構造を有している。本実施例では、絶縁基材4bとして日本電気硝子社製のA-2基板（ガラス基板）を用いた。この絶縁基材4bの上に、まず、プラズマCVD法で二酸化シリコン薄膜を膜厚100nmとして堆積した後、 Si_2H_6 を用い減圧CVD法でアモルファスシリコン膜4aを75nm堆積した。アモルファスシリコン膜4aの堆積条件は、 Si_2H_6 流速150sccm、圧力8Pa、基板温度450℃とし、堆積時間は70分間とした。

【0033】被処理基板4は、ホルダー8上に配置され、このホルダー8は基板移動機構9によってx-y方向へ移動可能となっている。

【0034】本実施例では、エキシマレーザ1としてKrFエキシマレーザを用いた。このレーザ光は波長248nmのパルス光であり、パルス幅30ナノ秒、エネルギー密度400mJ/cm²である。基板温度は300℃とする。

【0035】エキシマレーザ1から生じたレーザ光は、ホモジナイザ2を通った後、ミラー3により光路を変え、アモルファスシリコン膜4aに照射される。この照射光は、ミラー3により、アモルファスシリコン膜4aを含む平面に対して80度の角度となるように光路調整されている。この照射による照射領域を直接照射領域6とする。この照射光は、半導体膜の表面で一部が吸収されて熱に変換され、残りは反射する。本実施例ではKrFエキシマレーザの波長248nmの光を用いているが、この場合、溶融状態となったアモルファスシリコン膜4a表面での反射率は75%程度であった。

【0036】この反射光を、本実施例では凹面ミラー10により集光する。凹面ミラー10に反射した光は再び半導体膜表面に到達する。この光により照射される領域を間接照射領域7と称す。凹面ミラー10による反射光の集光度は、被処理基板4から凹面ミラー10までの距離を調整することにより制御できる。本実施例では被処理基板4から凹面ミラー10までの距離を20cmとし、集光度を約50%とした。したがって、レーザ光のエネルギー利用率は、約71%であった。なお、反射光を利用しない従来の方法ではエネルギー利用率は46%となる。

【0037】本実施例において、直接照射領域6のエネルギー密度 E_1 は、400mJ/cm²程度である。一方、間接照射領域7のエネルギー密度 E_2 は、200mJ/cm²程度であり、直接照射領域6のエネルギー密度 E_1 の約50%となっている。

【0038】以下、この装置を用いたレーザ照射方法の例について図2、3を参照して説明する。図2は本実施例の方法の概略を示す図である。図3は直接照射と間接照射の位置関係、およびスキャン照射の様子を説明するための図である。図中、1回目および2回目の照射によ

る照射領域が示されている。照射領域は、実際にはレーザー走査方向と直角の方向に延びたライン状の形状を有しているが、便宜上、その矩形状の形状として表している。

【0039】本実施例では、基板を一方向に移動することにより、レーザー照射領域を走査する。図3に示すように、基板の進行方向に対して間接照射領域7は直接照射領域6の前方に位置しており、アモルファスシリコン膜4aの同一地点に対し、間接照射および直接照射がこの順で行われることとなる。2つの照射領域は、照射面積が略等しくなっている。すなわち、2つの照射領域の幅（レーザー走査方向の幅）が略等しくなっている。さらに、走査ピッチをこれらの領域の幅と等しくしているため、1回目の照射における間接照射領域7が、ちょうど2回目の照射における直接照射領域6と重なるようになっている。このようにすることによって、実質的に半導体膜上のすべての領域に対して間接照射および直接照射の両方が行われることとなり、しかも照射プロセスの効率化を図ることができる。なお、2つの照射領域の幅が等しくない場合は、走査ピッチを短い方の幅に合わせることが好ましい。これにより実質的に半導体膜上のすべての領域に対して、間接照射および直接照射の両方が行われることとなる。

【0040】アモルファスシリコン膜4aの表面は、まず比較的低エネルギーの間接照射により予備加熱され、これにより固体から液体に変化し、その後の冷却に伴って多結晶シリコンとなる。このとき、多結晶粒子は照射領域の全面にわたって形成されるのではなく、一部の領域にのみ形成される。また、多結晶シリコンの粒界等において欠陥が多数生じる。つづいて、間接照射された領域が冷却し、固体となった段階で、直接照射が行われる。これにより、照射領域のほぼ全面にわたって多結晶粒子が成長し、しかも上述の欠陥が消滅する。以上の2種類の照射が順に行われるため、均一な粒径を有する多結晶組織が得られる。

【0041】本実施例においては、同一地点においての間接照射と直接照射との時間間隔が4ミリ秒となるように基板移動速度を調整した。本実施例で用いたレーザー光の場合、上記のように調整することにより、間接照射された領域に再び直接照射が行われることとなる。

【0042】本実施例の方法により作製した多結晶半導体膜を走査型電子顕微鏡で観察したところ、欠陥のない、粒径0.2 μ m程度の均一な多結晶半導体膜が形成されていることが確認された。また、表面平坦性も、従来の反射光を用いない場合と比較して向上した。

【0043】（実施例2）直接照射による照射領域と間接照射による照射領域との位置関係を図4のようにし、走査ピッチを変更したこと以外は実施例1と同様にしてレーザー照射を行った。本実施例では、走査ピッチを0.1mmとした。

【0044】図4において、間接照射領域7の幅、直接照射領域6の幅（いずれもレーザー走査方向の幅を指す）、およびこれらの領域の間隔をいずれも0.1mmとし、略等しくしている。このため、1回目の照射における間接照射領域7が、2回目の照射においては間接照射領域7と直接照射領域6の間の照射がされない領域と一致し、さらに3回目の照射において直接照射領域6と一致することとなる。すなわち、同一地点に対し、間接照射、非照射、直接照射がこの順で行われることとなる。間接照射と直接照射の間に非照射の段階が設けられているので、この段階で溶融シリコンを冷却させ、多結晶化するための時間を確保することができる。これにより、半導体膜の一地点に対し、間接照射により溶融させた後、冷却して固化させた上で直接照射を行うというプロセスを確実に行うことができる。

【0045】本実施例の方法により作製した多結晶半導体膜を走査型電子顕微鏡で観察したところ、粒径0.2 μ m程度の欠陥のない均一な多結晶半導体膜が形成されていることが確認された。

【0046】（実施例3）本実施例で用いるレーザー照射装置の概略図を図5に示す。この装置は実施例1と同様の構造を有しており、直接照射領域6と間接照射領域7の位置関係のみが異なっている。被処理基板4の作製方法は実施例1と同様である。

【0047】以下、この装置を用いたレーザー照射方法の例について図6、7を参照して説明する。図6は本実施例の方法の概略を示す図である。図7は直接照射と間接照射の位置関係、およびスキャン照射の様子を説明するための図である。図中、1回目および2回目の照射による照射領域が示されている。照射領域は、実際にはレーザー走査方向と直角の方向に延びたライン状の形状を有しているが、便宜上、その矩形状の形状として表している。

【0048】本実施例では、基板を一方向に移動することにより、レーザー照射領域を走査する。図7に示すように、基板の進行方向に対して間接照射領域7は直接照射領域6の後方に位置しており、アモルファスシリコン膜4aの同一地点に対し、直接照射および間接照射がこの順で行われることとなる。2つの照射領域は、照射面積が略等しくなっている。すなわち、2つの照射領域の幅（レーザー走査方向の幅）が略等しくなっている。さらに、走査ピッチをこれらの領域の幅と等しくしているため、1回目の照射における間接照射領域7が、ちょうど2回目の照射における直接照射領域6と重なるようになっている。このようにすることによって、実質的に半導体膜上のすべての領域に対して直接照射および間接照射の両方が行われることとなり、しかも照射プロセスの効率化を図ることができる。なお、2つの照射領域の幅が等しくない場合は、走査ピッチを短い方の幅に合わせることが好ましい。これにより実質的に半導体膜上のすべ

での領域に対して、直接照射および間接照射の両方が行われることとなる。

【0049】アモルファスシリコン膜4aの表面は、まず比較的高エネルギーの直接照射により加熱され、これにより固体から液体に変化する。つづいて、液体の状態（溶融状態）である間に間接照射がされる。これにより液体状態のアモルファスシリコンの冷却が緩やかになり、結晶粒の大きさを増加させることができる。

【0050】本実施例の方法により作製した多結晶半導体膜を走査型電子顕微鏡で観察したところ、粒径1.5μm程度の多結晶粒子が良好な秩序性をもって整然と配列していることが確認された。また、本実施例の方法によれば、レーザ光のエネルギー利用率は、約71%であった。一方、凹面ミラーによる集光を行わない従来の方法ではエネルギー利用率が46%であり、本実施例の方法の優位性が示された。また、基板温度を更に上昇させ400℃とした場合は、粒径2.5μm程度となった。

【0051】本実施例では、図7のように直接照射領域6と間接照射領域7とが隣接した状態となっており、両者は重なり合わないようになっている。ここで、図10のように、直接照射領域6と間接照射領域7とが一部重なるようにすれば、多結晶粒子の粒径をより増大させることができる。

【0052】

【発明の効果】以上説明してように本発明によれば、半導体膜に対してレーザ光を斜めの方向から照射するとともに、反射した光を集光し再び半導体膜に導いて照射するため、レーザ光のエネルギーの利用効率を高めることができる。これによりレーザ光源の寿命を向上させて運用コストを下げ、さらにアニール処理速度を向上させることができる。

【0053】本発明のレーザ照射装置は、異なるエネルギー密度のレーザ照射を行うために、レーザを複数設置したり、エネルギー変換器等を設置する必要がなく、装置の小型化を図り省スペース化を図ることができる。

【0054】さらに、本発明において、直接照射による照射領域と間接照射による照射領域との位置関係を適宜に調整することにより、多結晶組織の膜質の向上、すなわち、多結晶粒子の粒径の均一化、多結晶粒子の大粒径化、多結晶粒子の配列状態の秩序化等を図ることができ

る。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るレーザ照射装置の概略図である。

【図2】本発明に係るレーザ照射方法を説明するための図である。

【図3】本発明に係るレーザ照射方法を説明するための図である。

【図4】本発明に係るレーザ照射方法を説明するための図である。

【図5】本発明に係るレーザ照射装置の概略図である。

【図6】本発明に係るレーザ照射方法を説明するための図である。

【図7】本発明に係るレーザ照射方法を説明するための図である。

【図8】従来のレーザ照射装置の一例を示す図である。

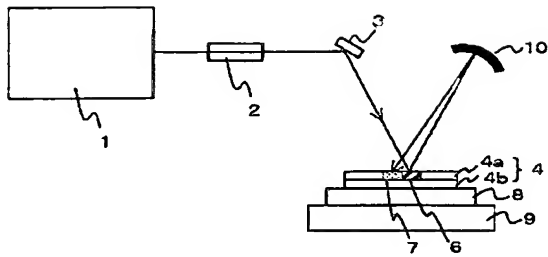
【図9】従来のレーザ照射方法の一例を示す図である。

【図10】本発明に係るレーザ照射方法を説明するための図である。

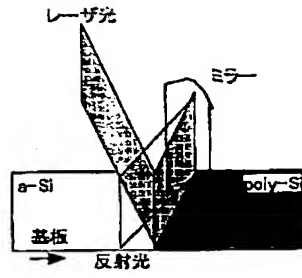
【符号の説明】

- 1 エキシマレーザ
- 2 ホモジナイザ
- 3 ミラー
- 4 被処理基板
- 4a アモルファスシリコン膜
- 4b 絶縁基材
- 6 直接照射領域
- 7 間接照射領域
- 8 ホルダー
- 9 基板移動機構
- 10 凹面ミラー
- 12 絶縁基板
- 13 アモルファスシリコン
- 17 ホモジナイザ
- 18 ビームスプリッタ
- 19 反射鏡
- 20 調節レンズ
- 21 フィルタ
- E1 副ビーム
- E2 主ビーム

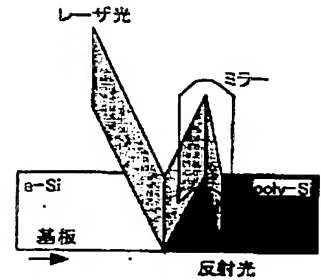
【図1】



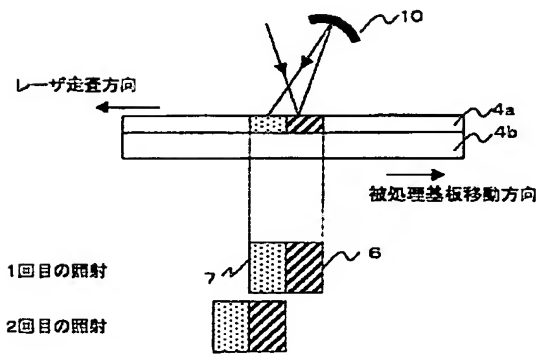
【図2】



【図6】

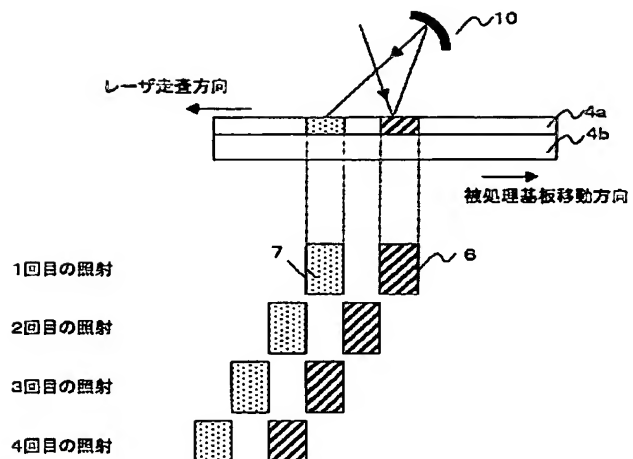


【図3】



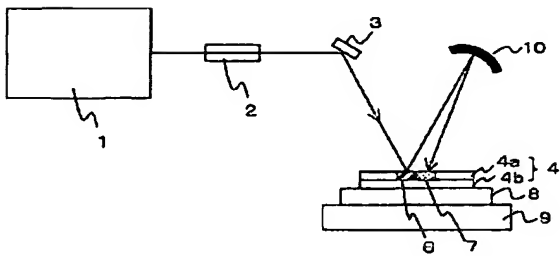
4a 半導体膜
4b 絶縁基材
6 直接照射領域
7 間接照射領域
10 凹面ミラー

【図4】

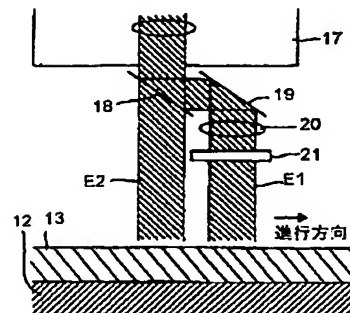


4a 半導体膜
4b 絶縁基材
6 直接照射領域
7 間接照射領域
10 凹面ミラー

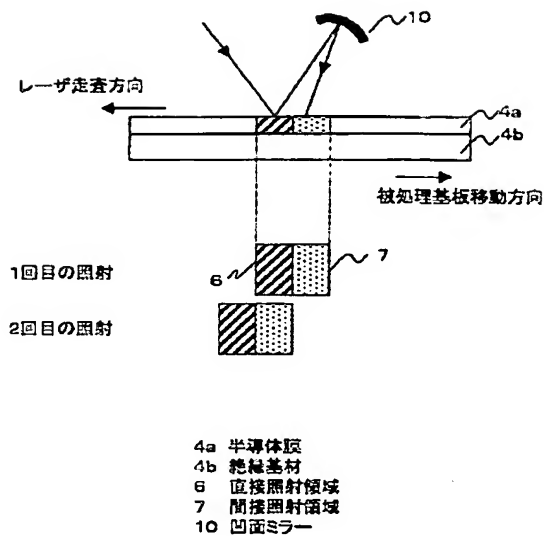
【図5】



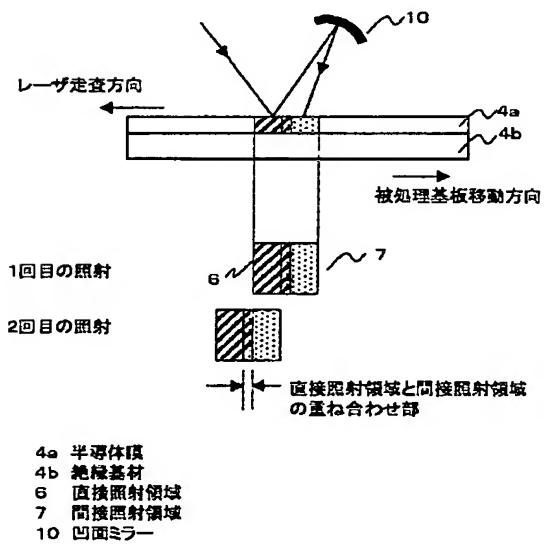
【図8】



【図7】



【図10】



【図9】

